

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 22.03.01. Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

**Влияние алюминий содержащих наночастиц на биометрические параметры
проростков**

УДК : 546.62:539.12:631.53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Лян Шиюэ		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Годымчук А.Ю.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук	Кашук И.В.	к.т.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения общетехнических дисциплин	Сечин А.И.	д.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Овечкин Б.Б.	к.т.н.		

Томск – 2020 г.

Результаты обучения по направлению

22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-4), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4, 2.5, 4.1, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-8, ПК-11), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.4, 4.8)
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.2, 4.3, 4.7, 4.8)
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4, 3.1, 3.2, 3.3), Критерий 5 АИОР (п. 2.9, 2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий	Требования ФГОС (ПК-3, 4, 6, 7, 11, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.4, 4.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.3, п. 2.8), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-10, ПК-14), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-7), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство	Требования ФГОС (ОК-8, ОК-9, ПК-12, ОПК-5), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1, 4.3, 4.4, 4.6, 2.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.12), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-19), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
 Отделение (НОЦ) – Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ Б.Б. Овечкин
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ **на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
154Б62	Лян Шиюэ

Тема работы:

Влияние алюминий содержащих наночастиц на биометрические параметры проростков	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 59-87/с от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1) Литературные источники: базы данных www.sciencedirect.com , www.elibrary.ru , www.scopus.com , www.elsevierscience.ru . 2) Объекты исследования: наноразмерные порошки Al и Al ₂ O ₃ , полученные методом электрического взрыва порошка 3) Экспериментальные данные, полученные в лаборатории НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» отделения материаловедения Томского политехнического университета. 4) Требования к продукту: методики исследования биологической активности промышленных наночастиц Al и Al ₂ O ₃ .
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) провести литературный обзор, включающий получение, применение и (эко)токсичность наночастиц алюминия; 2) определить морфологию наночастиц Al и Al ₂ O ₃ методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии; 3) изучить дисперсионные свойства наночастиц Al и Al ₂ O ₃ в водной суспензии методом лазерной дифракции;

	4) определить влияние состава, концентрации наночастиц на биометрические параметры проростков пшеницы; 5) сравнить влияние алюминий-содержащих наночастиц и ионов алюминия на биометрические параметры проростков пшеницы и сравнить с известными литературными данными.
Перечень графического материала	Микрофотографии нанопорошков, гистограммы распределения частиц по размерам в суспензии.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И.В.
Социальная ответственность	Сечин А.И.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	13.04.2020
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Годымчук А.Ю.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Лян Шиюэ		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
154Б62	Лян Шиюэ

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования 	Работа с информацией, представленной в российских и зарубежных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования 	<p>Проведение сегментации рынка, выполнение анализа конкурентных технических решений, выполнение SWOT-анализа, определение альтернатив выполнения НИ</p> <p>Расчет бюджета научного исследования</p> <p>Оценка сравнительной эффективности вариантов исследования, выбор оптимального варианта</p>
Перечень графического материала	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Карта сегментации рынка 2. Матрица SWOT 3. Календарный план-график проведения НИОКР по теме 4. Таблицы 	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.04.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Кащук И.В.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Лян Шиюэ		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
154Б62	Лян Шиюз

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР: Влияние алюминий содержащих наночастиц на биометрические параметры проростков

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект: Наночастицы Al и Al ₂ O ₃ , семена пшеницы Область применения: сельское хозяйство
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Отклонения показателей микроклимата 2. Повышенный уровень шума на рабочем месте 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны 4. Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы). Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Пожар

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.04.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения общетехнических дисциплин	Сечин А.И.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Лян Шиюз		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
 Отделение (НОЦ) – Отделение материаловедения
 Уровень образования – Бакалавриат
 Период выполнения – Осенний, весенний семестры 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН

выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29 мая 2020 г.
--	----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.05.2020	Основная часть	75
10.05.2020	Финансовый менеджмент	15
10.05.2020	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Годымчук А.Ю.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Овечкин Б.Б.	к.т.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 66 страниц, 9 рисунков, 22 таблицы и 53 источника.

Ключевые слова: нанопорошки, наночастицы алюминия, суспензии наночастиц, распределение частиц по размерам, средний размер частиц, лазерная дифракция, динамическое рассеяние света, агрегация наночастиц.

Объектами исследования являются нанопорошки Al, Al₂O₃.

Цель работы: оценка влияния концентрации наночастиц Al, Al₂O₃ и ионов Al³⁺ на биометрические параметры проростков пшеницы.

В работе проведено исследование влияния состава, концентрации наночастиц на биометрические параметры проростков пшеницы с применением методов низкотемпературной адсорбции азота, лазерной дифракции, динамического рассеяния света.

Показано, что низкая концентрация 1 мг/л наночастиц Al и Al₂O₃ способствовала развитию корней пшеницы, а высокая концентрация (10...1000 мг/л) подавляла. Установлено, что в высококонцентрированных средах (более 100 мг/л) подавление биометрических параметров проростков увеличивается в ряду Al...Al₂O₃...Al³⁺. Область применения: определение свойств наночастиц Al и Al₂O₃ с помощью лазерной дифракции, динамического рассеяния света и сканирующей электронной микроскопии.

Экономическая значимость работы заключается в изучении влияния наночастиц алюминия на растения и возможности его применения в сельском хозяйстве.

В будущем планируется определить оптимальные размеры и концентрации наночастиц алюминия для применения в сельском хозяйстве.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	11
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	12
1.1. Наночастицы.....	12
1.1.1. <i>Определение и виды наночастиц</i>	<i>12</i>
1.1.2. <i>Получение наночастиц Al и Al₂O₃.....</i>	<i>13</i>
1.1.3. <i>Применение наночастиц Al и Al₂O₃</i>	<i>14</i>
1.2. Биологические свойства наночастиц.....	16
1.2.1. <i>Положительное влияние наночастиц на высшие растения.....</i>	<i>16</i>
1.2.2. <i>Токсическое действие наночастиц на высшие растения</i>	<i>16</i>
1.3. Постановка задачи исследования	16
ГЛАВА. 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	18
2.1. Наночастицы и их изучение.....	18
2.1.1. <i>Наночастицы Al и Al₂O₃ и соль Al³⁺</i>	<i>18</i>
2.1.2. <i>Определение морфологии наночастиц</i>	<i>18</i>
2.1.3. <i>Определение дисперсионных свойств суспензий.....</i>	<i>19</i>
2.2. Исследование биологических свойств наночастиц.....	20
2.2.1. <i>Приготовление среды прорастания семян.....</i>	<i>20</i>
2.2.2. <i>Определение биометрических параметров проростков.....</i>	<i>20</i>
ГЛАВА.3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ	23
3.1. Характеристика наночастиц	23
3.2. Дисперсионные свойства суспензий наночастиц	24
3.2.1. <i>Влияние длительности УЗ обработки на размер частиц.....</i>	<i>24</i>
3.2.2. <i>Дисперсионные свойства наночастиц Al и Al₂O₃.....</i>	<i>25</i>
3.3. Биологические свойства наночастиц Al и Al₂O₃.....	25
3.3.1. <i>Влияние концентрации алюминия на биометрические свойства проростка</i>	<i>25</i>
3.3.2. <i>Влияние формы алюминия на биометрические свойства проростков пшеницы.....</i>	<i>28</i>
3.3.3. <i>Сравнение эксперимента с другими статьями</i>	<i>29</i>

3.4. Выводы по разделу.....	30
ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	32
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	32
<i>4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....</i>	<i>32</i>
<i>4.1.2 SWOT-анализ</i>	<i>33</i>
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	36
<i>4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования</i>	<i>36</i>
<i>4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования.....</i>	<i>36</i>
<i>4.2.3 Бюджет научно-технического исследования.....</i>	<i>39</i>
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	44
4.4. Выводы по разделу	47
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	49
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	49
<i>5.1.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства ..</i>	<i>49</i>
<i>5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....</i>	<i>49</i>
5.2. Производственная безопасность	50
5.3 Экологическая безопасность	56
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	57
5.5. Выводы по разделу.....	58
6. СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ	59
7. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	60

ВВЕДЕНИЕ

Алюминий-содержащие наночастицы находят применение в космической отрасли, в качестве добавок к солнечным панелям и в взрывной деятельности [1]. Производство, использование и утилизация наночастиц неизбежно приводят к увеличению числа источников их выделения в атмосферу, гидросферу и литосферу [2]. Несмотря на то, что алюминий считается фитотоксичным элементом [3], данных о концентрационном влиянии наночастиц Al и Al₂O₃ на прорастание высших растений [4] крайне недостаточно. Также не хватает данных, позволяющих выстроить закономерности влияния наночастиц в отличие от ионов.

Целью выпускной квалификационной работы является оценка влияния концентрации наночастиц Al, Al₂O₃ и ионов Al³⁺ на биометрические параметры проростков пшеницы.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Наночастицы

1.1.1. Определение и виды наночастиц

Нанотехнологии – область фундаментальной и прикладной науки и техники, имеющая дело с совокупностью теоретического обоснования, практических методов исследования, анализа и синтеза, а также методов производства и применения продуктов с заданной атомной структурой путём контролируемого манипулирования отдельными атомами и молекулами.

Наноматериалы – материалы, созданные с использованием наночастиц и/или с использованием нанотехнологий с определенными уникальными свойствами, свойства которых обусловлены наличием этих частиц в материале. Наноматериалы состоят из объектов с одним из характерных размеров, расположенных в диапазоне от 1 до 100 нм [5].

По размеру наноматериалы различают на: отдельные кластеры (1 Å), кластеры (1 нм), наночастицы (10 нм), нанопорошки (100 нм), дисперсные порошки разной крупности (10 мкм) и гранулы (1 мм).

Наночастица (англ. nanoparticle) представляют собой отдельный твердофазный объект, имеющий различные границы с окружающей средой, размеры которых находятся во всех трех измерениях в диапазоне от 1 до 100 нм [6].

К наночастицам можно относят углеродные, полимерные наночастицы; неорганические наночастицы, квантовые точки.

По размерности наночастицы делят на нульмерные (нанопорошки, наночастицы, кластеры), одномерные (нанотрубки, нановолокна), двумерные (нанопленки, покрытия, слои) и трехмерные (нанокомпозиты, кристаллы). По форме наночастицы бывают игольчатая (Al), сферическая (Mo, Cu, Al), хлопьевидная (Fe) и т.д.

1.1.2. Получение наночастиц Al и Al₂O₃

Наночастицы обычно могут быть получены как физическими, так и химическими методами. Физические методы включают конденсационный метод и измельчения. Химические методы получения наночастиц, в первую очередь метод «золь-гель», электрокоррозионный метод, метод термического разложения или восстановления комплексов металлов в контролируемых условиях, само распространяющийся высокотемпературный синтез и другие. Специальные методы включают получение наночастиц в плазме электрической дуги, получение наночастиц при облучении лазером, ударно-волновой синтез, механический и механохимический методы измельчения с применением высокоэффективных шаровых мельниц и другие.

Научные работы по получению наночастиц Al очень мало, используемые методы в основном ограничены химическим методом и методом дугового разряда. Методом дугового разряда получают частицы Al в жидкой среде, применяя постоянный ток между алюминиевыми электродами. Высокий ток (120 А / см²) проходит между двумя электродами, испаря атомы алюминия с поверхности анодного электрода. Охлаждение паров алюминия приводит к образованию первичных частиц и превращению их в диспергированные в среде наночастицы через механизм нуклеации [7].

Для получения наночастиц Al и его оксида используют метод электрического взрыва металлических проводников (ЭВП) – один из перспективных методов получения широкой гаммы нанопорошков неорганических материалов с высокой химической активностью, основанный на импульсных процессах. В следствие экстремальных условий образования электровзрывных наночастиц (высокие температуры и скорость процесса) при ЭВП формируется неравновесная структура дисперсной фазы нанопорошков. Методом электрического взрыва можно получить наночастицы Al из исходной алюминиевой проволоки [8].

Для получения наночастиц Al_2O_3 используют осаждение из раствора, из газовой фазы, золь-гель метод и гидротермальный метод.

Золь-гель метод позволяет получать высококачественный продукт воспроизводимого состава. Согласно методу, сначала производят синтез алюмината натрия с добавлением стабилизирующих добавок (ПЭГ-20 000) в растворе с последующим осаждением, сушкой и спеканием [9].

Также для получения наночастиц оксида алюминия используют метод распылительной сушки. Согласно методике, осушающий газ проходит через нагреватель и поступает на вертикально закрепленную распылительную головку. Капли образца высыхают в потоке нагретого воздуха по мере движения по распылительному цилиндру высокому напряжению между электродом-коллектором и электродом высокого напряжения. В то время как высоковольтный электрод изменяет траекторию частиц (сдвигает в сторону стенок), электрод-коллектор притягивает их. Таким образом, частицы собираются на внутренней стороне электрода коллектора частиц. По завершении работы установки частицы снимают со стенки колбы с помощью специальной лопатки [10].

1.1.3. Применение наночастиц Al и Al_2O_3

Наночастицы Al в основном используются как добавки в ракетное топливо, взрывчатые вещества и солнечные батареи.

Из-за высокой плотности алюминия, низкого потребления кислорода и высокой энтальпии сгорания, наночастицы Al очень выгодно добавлять в топливо. При этом по сравнению с обычным алюминиевым порошком, нанометровый алюминиевый порошок имеет более быстрое сжигание и большую тепловыделение [11].

Добавление в взрывчатку наночастиц Al с высокой теплотворной способностью является одним из способов повышения функциональной силы взрывчатых веществ для создания боеприпасов [12].

Тонкая пленка из Co-Al слоистого двойного гидроксида может быть использована в качестве солнечного элемента и транзистора [13].

Наночастицы Al_2O_3 широко используются во многих областях современной промышленности: катализ, электроника, металлургия, оптоэлектроника, керамические композитные материалы [14], [15], [16]. В качестве адсорбента наночастицы Al_2O_3 перспективны для извлечения фтора из различных сред при очистке вод с повышенным содержанием фтора [17]. Можно применять в качестве осушителя для осушки газов [18]. Смесь наножидкостей CuO и Al_2O_3 (1:1 мас%), применяемая к солнечным батареям, может повысить эффективность охлаждения солнечных панелей [19]. Благодаря таким характеристикам, как высокая твёрдость, огнеупорность и антифрикционные и изоляционные свойства, наночастицы Al_2O_3 активно используются в керамике и композитах [20]. Например, для создания таких изделий, как горелки газоразрядных ламп, подложки интегральных схем, запорные элементы керамических трубопроводных кранов, протезы и т.д. [21].

Нанопорошки Al_2O_3 широко используются в катализаторах, пористых керамиках для фильтров, антибактериальных реагентах, медицинских материалах, а также при разработке композиционных материалов на основе различных матриц [22]. [23]. Инженерная керамика использовалась в качестве компонента ортопедических имплантатов с 1970-х годов, когда Boutin.P начал использовать искусственный тазобедренный сустав, состоящий из оксида алюминия [24]. Добавление наночастиц Al_2O_3 в покрытие кремниевого карбида (SiC) для стоматологических применений может значительно уменьшить коррозию стеклокерамики [25]. Добавление наночастиц $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CONH-Vx3}$ в наноантропную вакцину может значительно повысить противоопухолевый эффект вакцины, которая может быть применена для иммунотерапии рака [26].

1.2. Биологические свойства наночастиц

1.2.1. Положительное влияние наночастиц на высшие растения

Исследования показали, что наночастицы могут оказывать положительное влияние на высшие растения. Например, в сельском хозяйстве наноматериалы рассматриваются для применения от нано-удобрений до нано-пестицидов, например, Ag/TiO₂ (5-7 нм), синтезированные с использованием полиоксиэтилена лауриловый эфир может быть использован в качестве гербицида [27]. В недавней работе показано, что наночастицы TiO₂ (21 нм) могут уменьшать содержание ризосферных бактерий в проростках салата [28]. Нано-SiO₂ и нано-TiO₂ могут ускорить прорастания и роста сои [29]. Показано, что наночастицы (Pd, Au при низких концентрациях; Si, Cu при высоких концентрациях и сочетании Au и Cu) положительно влияют на прорастание семян, измеряемое в количествах роста сеянцев и корней [30].

1.2.2. Токсическое действие наночастиц на высшие растения

С другой стороны, наночастицы также оказывают вредное воздействие на рост высших растений. Например, наночастицы Ag (20 нм) значительно уменьшают удлинение и вес корней и побегов риса [31]. Наночастицы ZnO (20 нм) также способны подавлять развитие корневой системы редиса, рапса, ржи, салата, кукурузы и огурца [32]. В другой работе показано, что наночастицы ZnO (30 нм) не влияет на прорастание семян, но подавляет удлинение корней огурцов [33].

Окрашивание томатов наночастицами Al₂O₃ (21 нм) и CuO (18 нм) при 2000 мг/мл повреждает корневые клетки томатов [34].

1.3. Постановка задачи исследования

Изучение литературы показало, что наночастицы алюминия и оксида алюминия находят активное применение в разных отраслях науки и техники. В связи с этим производство наночастиц постоянно растет, и методы их синтеза разнообразны. Увеличение объемов применения и производства приводит к тому,

что увеличивается число источников выделения наночастиц в окружающую среду.

Также обзор позволил увидеть, как положительное, так и отрицательное влияние наночастиц на высшие растения. Но не смотря на имеющийся задел в международной периодике, данных до сих пор недостаточно для того, чтобы классифицировать наночастицы по степени опасности.

Целью выпускной квалификационной работы является оценка влияния концентрации наночастиц Al, Al₂O₃ и ионов Al³⁺ на биометрические параметры проростков пшеницы.

Для достижения цели работы необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) провести литературный обзор, включающий получение, применение и (эко)токсичность наночастиц алюминия;
- 2) определить морфологию наночастиц Al и Al₂O₃ методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии;
- 3) изучить дисперсионные свойства наночастиц Al и Al₂O₃ в водной суспензии методом лазерной дифракции;
- 4) определить влияние состава, концентрации наночастиц на биометрические параметры проростков пшеницы;
- 5) сравнить влияние алюминий-содержащих наночастиц и ионов алюминия на биометрические параметры проростков пшеницы и сравнить с известными литературными данными.

ГЛАВА. 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Наночастицы и их изучение

2.1.1. Наночастицы Al и Al_2O_3 и соль Al^{3+}

В качестве объектов исследования были выбраны наночастицы алюминия (Al) и оксида алюминия (Al_2O_3) (производитель – ООО «Передовые порошковые технологии», г. Томск, Россия) и соль Al^{3+} .

Наночастицы Al были получены с помощью ЭВП в атмосфере Ar с последующей пассивацией в воздухе. Согласно данным производителя, наночастицы содержали 90% – Al, 9% – Al_2O_3 , остальное – адсорбированные газы. Порошок серого цвета. Частицы имели среднеарифметический размер 90 нм, удельная поверхность – 15,5 м²/г.

Наночастицы Al_2O_3 изготовлены методом ЭВП взрыва алюминиевого проводника в кислородосодержащей атмосфере. Частицы содержали 95% α - Al_2O_3 , 3% – Al, 2% – сорбированные газы (азот, углеводороды). Порошок белого цвета. Удельная поверхность – 35 м²/г, средний размер – 50 нм.

Источником ионов Al^{3+} служил водный раствор нитрата алюминия ($Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$).

2.1.2. Определение морфологии наночастиц

Для изучения морфологии наночастиц Al использовали сканирующую электронную микроскопию (СЭМ), в основе которой лежит принцип взаимодействия электронного пучка с исследуемым объектом. Определение микроструктурных характеристик поверхности нанопорошков производилось с помощью электронного сканирующего микроскопа высокого разрешения Merlin (Carl Zeiss, Германия, Нано-Центр ТГУ им. Г.Р. Державина, г. Тамбов). Максимальное разрешение микроскопа 1 нм. Перед съемкой на порошок, нанесенный тонким слоем на проводящий скотч, напыляли пленку углерода; съемку проводили при ускоряющем напряжении 10 кВ.

Для изучения морфологии наночастиц Al_2O_3 применяли просвечивающую электронную микроскопию (ПЭМ) в котором объект, представляющий собой тонкую пленку (толщина $\sim 0,01$ мкм), подвергается действию пучка электронов, ускоренных до больших энергий (50-200 кэВ), в вакууме ($\sim 10^{-6}$ Па). Электроны, отклоненные атомами объекта на малые углы и прошедшие сквозь объект, попадают в систему магнитных линз, которые на экране или фотопленке формируют светлопольное или темнопольное изображения внутренней структуры [35]. Использовали просвечивающий электронный микроскоп JEM 2100F (Jeol, Япония, Нано-Центр ТПУ, Томск). Сопоставление светлопольных и темнопольных изображений дает возможность выявить особенности структуры и при необходимости эти области подвергаются кристаллографическому анализу.

Полученные изображения обрабатывали с помощью программы ImageJ. Распределения строили по данным не менее 100 частиц. Среднее значение частиц брали как среднеарифметическое из полученных данных о размере частиц.

2.1.3. Определение дисперсионных свойств суспензий

Для проведения дисперсионного анализа суспензий использовали метод лазерной дифракции (ЛД), в котором измеряется угловое распределение интенсивности света, рассеянного при прохождении луча лазера через образец, диспергированный в жидкой среде. Измерения проводили на дифракционном анализаторе размеров частиц SALD-7101 (Shimadzu, Япония), снабженного лазером с длиной волны $\lambda=375$ нм. Концентрация порошка в суспензии составляла 0,02...0,06 мас.%. Измерения проводили при ультразвуковой обработке (40 Вт) и постоянно лопастным перемешивании. Результатом измерения являлась кривая численного распределения частиц по размерам, по данным которой рассчитывали средний размер частиц (d_{cp}) по формуле (2.1):

$$d_{cp} = \sum d \frac{q(\%)}{100(\%)} , \quad (2.1)$$

где d_{cp} – средний диаметр частиц; d – размер частиц в дисперсии; q – содержание частиц в дисперсии, %.

2.2. Исследование биологических свойств наночастиц

2.2.1. Приготовление среды прорастания семян

В качестве среды прорастания в работе готовили суспензии наночастиц Al и Al_2O_3 и растворы Al^{3+} . Суспензии и растворы готовили на основе дистиллированной воды ($pH=6,5\pm0,2$, дистиллятор АЭ-25 МО (ООО ТЗМОИ, Тюмень, Россия). Дистиллированную воду использовали в качестве контроля (К).

Для приготовления суспензий навеску наночастиц или соли смешивали с 50 мл дистиллированной воды, чтобы концентрация по алюминию составляла 1, 10, 100 и 1000 мг/л. Для взвешивания использовали весы ALC-110d4 (ACCULAB, Россия, точность $\pm0,0001$). Контейнер закрывали и обрабатывали в ультразвуковой ванне DR-LQ20 (МосРемТех, Россия, мощность 60 Вт) в течение 30 минут.

Посуда для эксперимента обрабатывалась в 2% растворе HNO_3 , затем промывалась проточной водой. Суспензии для исследований использовали в течение 15 минут.

2.2.2. Определение биометрических параметров проростков

В качестве биометрических параметров семян определяли длину проросшего корня (L , см), всхожесть семян (G , %) и корневой индекс (RI).

Для исследования биологических свойств наночастиц и ионов использовали семена пшеницы сорта «Ирень» (*Triticum aestivum L.*) урожая 2017 года, предоставленные агрофирмой ИП Орищенко (Томский район, Россия).

В эксперименте на дно чашки Петри размещали фильтровальную бумагу, на которую равноудаленно помещали 6 семян. В каждую чашку добавляли 7 мл среды прорастания. Далее закрытые чашки Петри выдерживали термостате ТС-1/80 (СПУ, Россия) при $25\pm2^\circ C$. Через 48 часов из чашек (рис.2.1а) стерильным пинцетом вынимали проростки и выкладывали на черную ткань/бумагу для

морфометрического анализа (рис.2.1б). Результатом измерения было значение средней длины проросшего корня (L , см).



а



б

Рисунок 2.1. Проросшие семена: в чашке Петри (а) и выложенные для морфометрического анализа (б).

Также определяли всхожесть семян (G , %) по формуле (2.2):

$$G = \frac{\text{число проросших семян}}{\text{число посеянных семян}} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

С помощью визуального анализа вынутых на темный фон семян определяли проросли ли они: если белый корешок виден из разрыва оболочки семени, значит семена проросли.

После анализа семена возвращали в чашки, добавляли при необходимости 7 мл дистиллированной воды, закрывали и помещали под климатическую лампу (300 Лк). Культивация побегов проводилась при $25 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 5 дней (рис.2.2а). Корни проросших побегов аккуратно распутывали, стерильными ножницами от семян отрезали корни и зелень, высушивали их при $30 \pm 0,5^\circ\text{C}$ в течение 24 ч. После этого биомассы взвешивали и использовали для расчета корневого индекса (RI) по формуле (2.3):

$$RI = \frac{m_{\text{сухого корня}}}{m_{\text{сухого побега}}}. \quad (2.3)$$



а



б

Рисунок 2.2. Культивация побегов (а) и выложенные побеги для гравиметрического анализа (б).

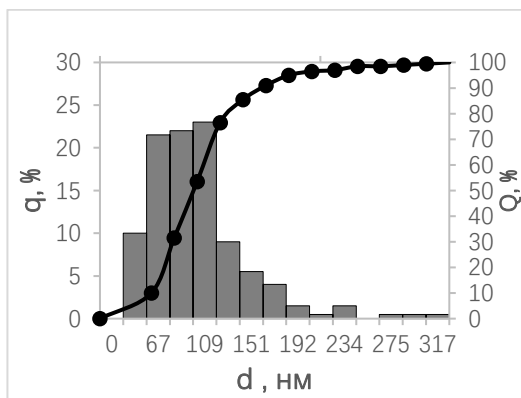
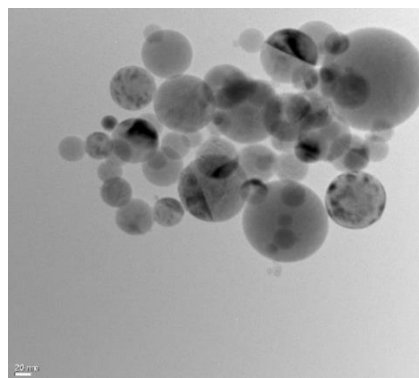
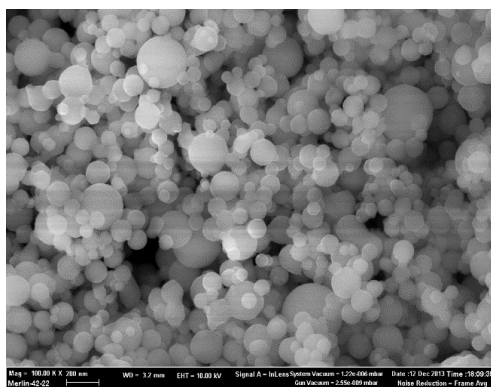
ГЛАВА.3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

3.1. Характеристика наночастиц

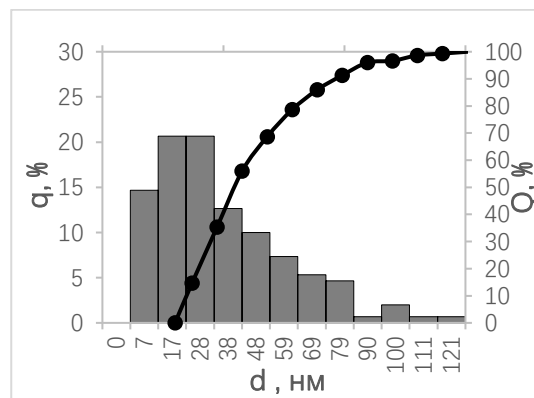
Состав, морфология и размеры изученных нанопорошков алюминия и оксида алюминия представлены в таблице 3.1. Полученные данные о наночастицах согласуются между собой и с данными производителя.

Таблица 3.1. Характеристика нанопорошков

Обозначение в работе	Форма частиц	Распределение частиц по размерам, нм	Средний размер частиц, нм
Al	Сферическая	47...317	113±45
Al ₂ O ₃	Сферическая	7...120	41±25



а



б

Рисунок 3.1. Микрофотографии и распределение частиц по размерам для наночастиц Al (а) и Al₂O₃ (б).

3.2. Дисперсионные свойства суспензий наночастиц

3.2.1. Влияние длительности УЗ обработки на размер частиц

Влияние длительности УЗ обработки было проанализировано через изменение фракционного состава суспензий наночастиц Al_2O_3 .

Установлено, что при воздействии ультразвука в течение 2-4 минут частицы с размером <200 нм в суспензии составляют 70-82%. Далее, при увеличении времени обработки до 20 мин в суспензии преимущественно частицы с размером >500 нм (60%). По всей видимости, генерируемое тепло увеличивается и вероятность столкновения наночастиц становится больше, что приводит к образованию агрегатов. Однако при более длительной обработке размер агрегатов уменьшается, о чем свидетельствуют данные о фракционном составе: доля частиц с размером >500 нм не превышает 10%, но 80% частиц имеют размеры <200 нм (рис.3.2). Вероятно, обработка более 10 минут приводит к зарядке поверхности, в результате чего частицы приобретают больший заряд и отталкиваются друг от друга. Так, средний заряд агрегатов составляет «1282...1172...755...614...518 нм», соответственно, при УЗ обработке в течение 10...20...30...40...50 мин.

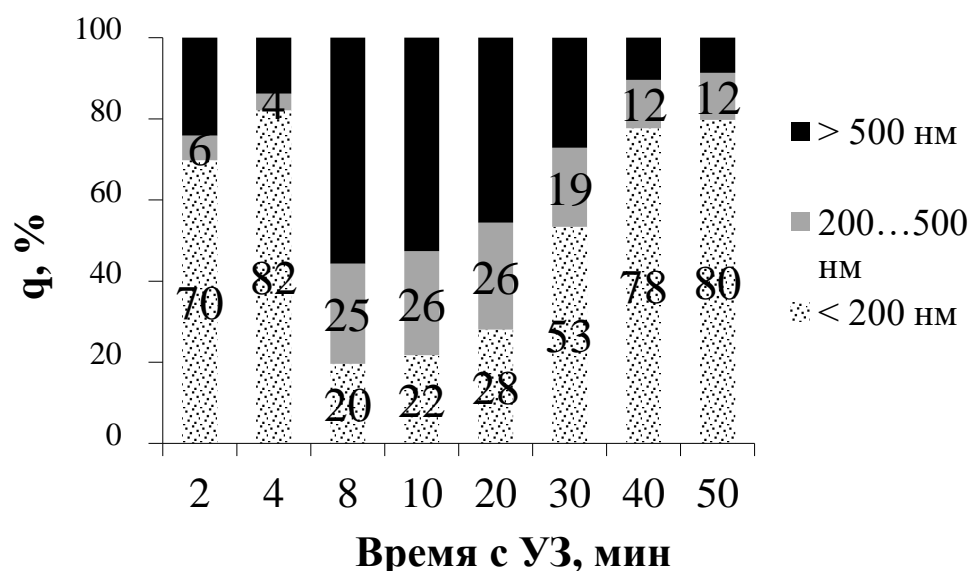


Рисунок 3.2. Влияние время УЗ обработки на дисперсионные свойства суспензий наночастиц Al_2O_3 .

3.2.2. Дисперсионные свойства наночастиц Al и Al₂O₃

Согласно данным лазерной дифракции, исследуемые частицы имеют бимодальное распределение, при этом диапазон распределения частиц Al и Al₂O₃ составляет, соответственно, 90...1700 и 10...2600 нм (рис.3.3). Несмотря на то, что распределение для Al₂O₃ шире, его больший пик имеет модальный размер 52 нм (12%) по сравнению с 825 нм (14%) для Al. Средний размер агрегатов составил 915 и 90 нм, соответственно, для Al и Al₂O₃.

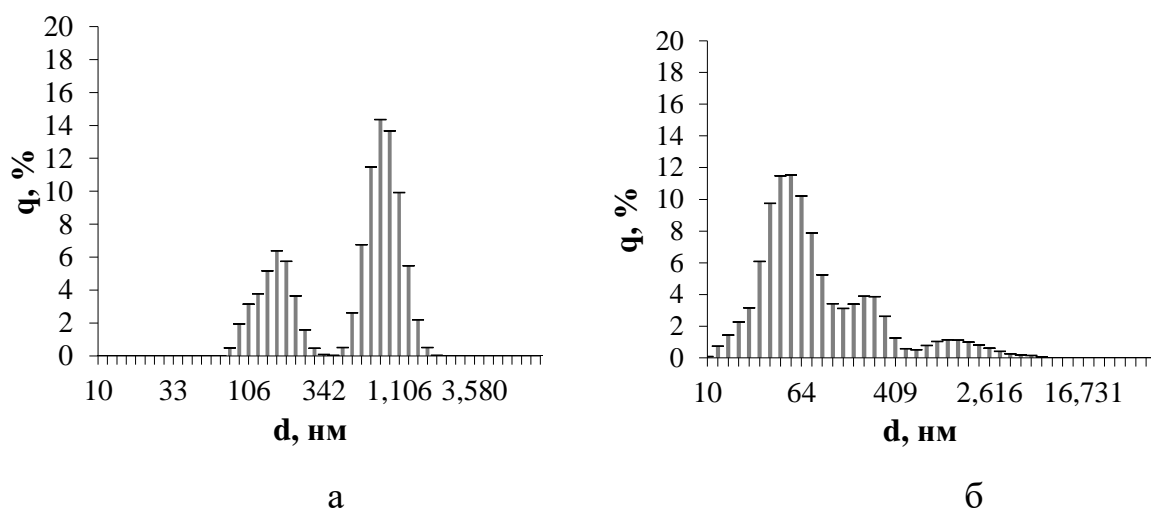


Рисунок 3.3. Распределение частиц Al (а) и Al₂O₃ (б) по размерам в суспензии (время Уз обработки 50 мин).

3.3. Биологические свойства наночастиц Al и Al₂O₃

3.3.1. Влияние концентрации алюминия на биометрические свойства проростка

Установлено, что добавление 1 мг/л алюминия в виде наночастиц или ионов стимулирует развитие корневой системы. Например, для наночастиц Al средняя длина корня увеличивается до 2,8 см по сравнению с контролем (1,8 см), что составляет 56% (рис.3.4). При концентрации больше 1 мг/л во всех средах прорастания развитие корневой системы пшеницы подавляется, и длина корня уменьшается на 0...100%. При этом наиболее это видно при концентрации

10 мг/л. Так, длина корня проростка в среде с концентрацией алюминия 10...100...1000 мг/л составляет, соответственно 1.2...1.8...2.0 см и 1.4...2.1...1.8 см для наночастиц Al и Al₂O₃ (рис.3.4).

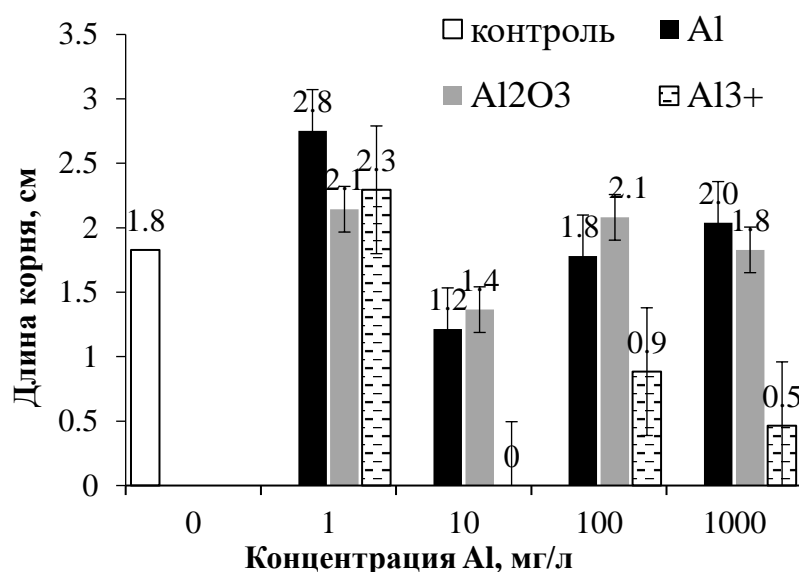


Рисунок 3.4. Влияние концентрации алюминия на длину корня проростка.

Показано, что при концентрации 1 мг/л добавки алюминия в форме наночастиц не влияют на всхожесть (она остается 75...76% как и в контроле), но при концентрации 10 мг/л и 1000 мг/л все три формы алюминия препятствуют прорастанию семян, особенно Al³⁺ (рис.3.5). При концентрации 100 мг/л, независимо от формы, алюминий не подавляет прорастание семени, а даже увеличивает на 8 и 25%, соответственно, для наночастиц Al и Al₂O₃. При концентрации более 100 мг/л всхожесть опять уменьшается.

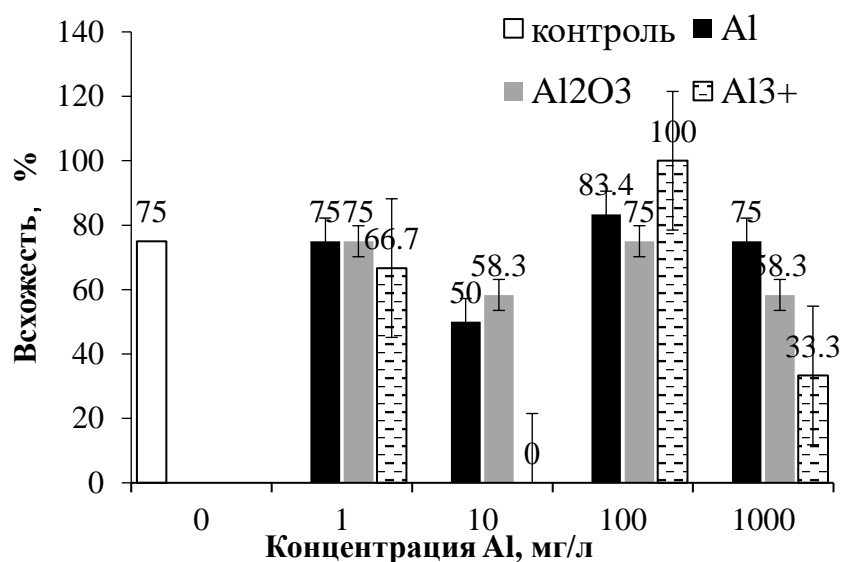


Рисунок 3.5. Влияние концентрации алюминия на всхожесть семян.

Согласно экспериментальным данным, добавление алюминия в концентрации 1 мг/л привело к уменьшению корневого индекса. Так, величина RI уменьшилась на 78...49...56% по сравнению с контролем, соответственно, для систем, содержащих Al, Al₂O₃ и ионы Al³⁺ (рис.3.6). Уменьшение RI свидетельствует о том, что в присутствии алюминия образуется меньше корня и больше надземной части растения, т.е. корневая система менее развита, чем в контроле.

Дальнейшее увеличение концентрации алюминия привело к уменьшению или к сохранению корневого индекса. Например, величина RI составляет 0,82...0,91...0,57...0,43, соответственно для концентрации 1...10...100...1000 мг/л в суспензии наночастиц Al₂O₃ (рис.3.6).

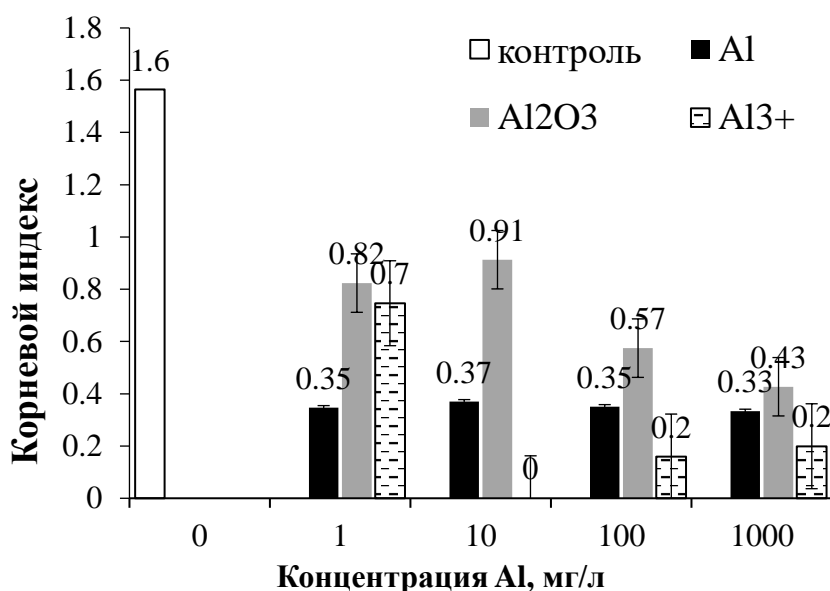


Рисунок 3.6. Влияние концентрации алюминия на корневой индекс проростков.

3.3.2. Влияние формы алюминия на биометрические свойства проростков пшеницы

Установлено, что влияние формы, в которой добавляется алюминий в среду прорастания семян при низких концентрациях (1...10 мг/л), на длину корня и всхожесть не очевидно. Например, при концентрации алюминия 1 мг/л длина корня и всхожесть при добавлении наночастиц и ионов различаются не более, чем на 25%. Однако, в высоко концентрированных средах (100...1000 мг/л) форма очень важна при анализе адаптационных свойств растения на ранней стадии развития. Видно, что в средах с добавлением металлического Al происходит преимущественно образование надземной части, в то время как в системах с Al₂O₃ и Al³⁺ – образуется больше корня по сравнению с побегом. Например, величина RI составляет 0,35...0,82...0,7 в ряду Al...Al₂O₃...Al³⁺ (рис.3.6).

Согласно полученным экспериментальным данным, наночастицы Al способствуют прорастанию семян пшеницы, а наночастицы Al₂O₃, Al³⁺ ионы препятствуют прорастанию семян пшеницы. Подавление всех параметров

увеличивается в ряду $Al...Al_2O_3...Al^{3+}$. Например, при концентрации 1000 мг/л длина корня, всхожесть и корневой индекс в ряду $Al...Al_2O_3...Al^{3+}$ составляют, соответственно 2...1,8...0,5 см (рис.3.4), 75...58,3...33,3% (рис.3.5) и 0,33...0,43...0,2 в ряду $Al...Al_2O_3...Al^{3+}$ (рис.3.6). Очевидно, а ионы Al^{3+} подавляют развитие растения.

Показано, что для всех выбранных систем независимо от состава и концентрации алюминия величина корневого индекса (RI) меньше по сравнению с контролем на 43...88%. Уменьшение RI свидетельствует о том, что в присутствии Al образуется меньше корня и больше надземной части растения, т.е. корневая система менее развита, чем в контроле (рис.3.6). Например, в суспензии с концентрацией наночастиц Al 1 мг/л величина RI составляет 0,35 по сравнению с 1,6 в контроле.

В целом видно, что при любой концентрации корневой индекс для проростков, выращенных в суспензиях наночастиц Al всегда меньше, чем для наночастиц Al_2O_3 : например, при концентрации 10 мг/л величина RI составляет 0,37 и 0,91. Соответственно, для наночастиц Al и Al_2O_3 . При концентрации алюминия ≥ 100 мг/л – в присутствии Al^{3+} корневая система максимально подавлена. Например, в 1000 мг/л растворе величина RI составляет 0,33...0,43...0,2, соответственно, в ряду $Al...Al_2O_3...Al^{3+}$ (рис.3.6).

3.3.3. Сравнение эксперимента с другими статьями

Полученные данные о подавлении прорастания семян пшеницы соотносятся с данными, опубликованными ранее. В предыдущих исследованиях ученых, наночастицы Al с размером 18 нм и Al_2O_3 с размером 60 нм в концентрации 2000 мг/л оказывали значительное ингибирование прорастание корней кукурузы и снижали всхожести семян. А наночастицы Zn (35 нм) и ZnO (20 нм) в концентрации 2000 мг/л снижали всхожесть семян и практически прекращали рост корней райграсса [32]. С применением наночастиц TiO_2 (30 нм) с концентрацией 10...1000 мг/л показано небольшое снижение скорости

прорастания семян редиса. Длина корня была значительно выше при концентрациях 10 мг/л, чем при 100...1000 мг/л и в контроле [36]. Суспензия ZnO (64 нм) и TiO₂ (80 нм) в концентрациях от 20 до 100 мг/мл способствовала прорастанию семян красной фасоли. Оксид цинка значительно ингибирует рост корней красной фасоли по сравнению с контролем, особенно при концентрациях 40...80 мг/мл [37]. В моей работе, низкая концентрация (1 мг/л) наночастиц Al и Al₂O₃ способствовала росту корней пшеницы, а высокая концентрация (10...1000 мг/л) подавляла рост корней.

3.4. Выводы по разделу

На примере промышленных наночастиц Al и Al₂O₃, полученных с помощью электрического взрыва проводников, с размером менее 100 нм, и раствора нитрата алюминия (Al³⁺), было показано влияние концентрации алюминия на биометрические параметры проростков пшеницы сорта «Ирень» и сделаны следующие выводы:

1. Наночастицы Al и Al₂O₃, имеющие согласно электронной микроскопии сферическую форму и, соответственно, размеры 113 и 41 нм, по данным метода лазерной дифракции в водной суспензии после 15 минутной обработки ультразвуком (60 Вт) образовывали дисперсии со средним размером агрегатов 915 и 90 нм, соответственно.

2. Установлено, что добавление 1 мг/л алюминия в виде наночастиц Al и Al₂O₃ и раствора Al³⁺ в среду прорастания семян стимулирует минимум на 14% развитие корневой системы, не влияет на всхожесть и приводит уменьшению корневого индекса не менее, чем на 50% по сравнению с контролем.

3. Показано, что увеличение концентрации алюминия во всех формах в среде прорастания приводит к угнетению корневой системы пшеницы на ранней стадии развития: например, при увеличении содержания алюминия от 1 до 1000 мг/л длина корня уменьшается на 29...14...78% в системах, содержащих соответственно, Al... Al₂O₃...Al³⁺.

4. Продемонстрировано, что в высококонцентрированных средах подавление биометрических параметров проростков увеличивается в ряду $Al \dots Al_2O_3 \dots Al^{3+}$: например, при концентрации 1000 мг/л длина корня, всхожесть и корневой индекс в ряду $Al \dots Al_2O_3 \dots Al^{3+}$ составляют, соответственно, 2...1,8...0,5 см, 75...58,3...33,3% и 0,33...0,43...0,2.

5. Сравнение наночастиц Al и Al_2O_3 в концентрации <100 мг/л показало, что при добавлении в среду прорастания семян наночастиц Al адаптационные свойства растений значительно отличаются: для семян характерно преимущественно побега: корневой индекс для наночастиц Al составляет 0,3 по сравнению с 0.4...0.9 для наночастиц Al_2O_3 .

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Цель данного раздела ВКР заключается в оценке перспективности разработки и планировании финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы: будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью выпускной квалификационной работы является оценка влияния концентрации наночастиц Al, Al₂O₃ и ионов Al³⁺ на биометрические параметры проростков пшеницы.

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В процесс исследования рассматривались две конкурирующие разработки:

- 1) Добавление наночастиц серебра (Ag) в рост растений
- 2) Добавление наночастиц железа (Fe) в рост растений

В таблице 1 представлено сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 1 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Токсичность для растений	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
2. Токсичность для окружающей среды	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
3. Содействие роста корней растений	0,12	4	2	4	0,48	0,24	0,48
4. Содействие прорастания семян растений	0,12	4	3	4	0,48	0,36	0,48
5. Простота	0,06	5	5	5	0,3	0,3	0,3
6. Эффективность работы	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Реализация продукта	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
2. Уровень охвата рынка	0,05	3	3	3	0,15	0,15	0,15
3. Предполагаемая цена	0,08	4	5	4	0,32	0,4	0,32
4. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
5. Срок выхода на рынок	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
Итого	1	46	43	44	4,31	3,98	4,06

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что предлагаемое в данной ВКР решение обладает конкурентоспособностью.

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта проведен SWOT-анализ, где детально продуманы сильные и слабые стороны научно-технической разработки. На втором этапе проведения SWOT-анализа составлены интерактивные матрицы проекта, в которых осуществлено выполнение анализа соответствия параметров SWOT каждого с каждым. Соотношения параметров представлены в таблицах 2–5.

Таблица 2 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	+	-	-	-
	B3	-	+	-	+	-
	B4	-	+	-	+	-
	B5	+	+	-	-	-

Таблица 3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	+	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-
	B5	-	-	-	-	-

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-

Таблица 5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	+	-	-	-

Результаты выполнения SWOT-анализа представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты SWOT-анализа

Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Низкая стоимость исходного сырья С2. Наличие широкой потребительской базы С3. Взаимосвязи ТПУ с потенциальными заказчиками С4. ТПУ – один из ведущих вузов в области разработки нанотехнологий С5. Высокая квалификация сотрудников и научных работников		Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Токсичность материала для окружающей среды Сл2. Невысокие объемы производства Сл3. Риск нарушения правил безопасности и возникновения различных непредвиденных ситуаций Сл4. Большой срок поставок материала, используемого при проведении научного исследования
Возможности В1. Использование оборудования ИШНПТ ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Развитие производства и рост объемов продукции В4. Применение нанотехнологий в сельском хозяйстве, это новое направление	Направления развития В1С4. Высококачественное оборудование и расходные материалы доступны для этого эксперимента В2С2. Наличие потребительской группы приводит к высокому спросу на новые продукты В4С5. Высококвалифицированные исследователи внедряют инновации в новых направлениях В1В3С1. Низкая материальная цена, используя оборудование ТПУ существующее, низкая цена производства, может увеличить объем продукции	Сдерживающие факторы В2Сл4. Новый спрос на материалы приводит к длительному процессу исследования
Угрозы У1. Повышает конкуренцию в этой отрасли У2. Конкуренты имеют более передовую технологию и более низкую цену У3. Продукция мало востребована	Угрозы развития У1С1С2. Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса	Уязвимости: У1У2Сл2.Разработка новых технологий для увеличения объема производства У1Сл1Сл3. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения воздействия на окружающую среду

Результаты проведенного SWOT-анализа учтены в процессе дальнейшей разработки структуры работ, которые необходимо выполнить в научно-исследовательском проекте.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование работ предполагало определение структуры работ по проведению научного исследования, определение участников каждого вида работ, установление продолжительности работ, построение графика проведения исследований. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по выполнению НТР представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения ВКР	инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	инженер
	4	Выбор методов исследования	инженер, научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	инженер
	6	Проведение эксперимента	инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Обработка полученных данных	инженер
	8	Анализ полученных результатов НИР	Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации ОКР)	9	Составление пояснительной записки	инженер

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Определение трудоемкости выполнения научного исследования проведено экспертным путем в человеко-днях. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни; $t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни; $t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Исходя из рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ, была определена продолжительность каждого этапа работы (в рабочих днях T_p), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, а также возможность выполнения нескольких видов работ в один временной промежуток. Далее с помощью формулы 2 рассчитана продолжительность одной работы в рабочих днях:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, рабочие дни; $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 8.

Таблица 8. Показатели проведения исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни			
	руководитель	инженер	руководитель	инженер	руководитель	инженер		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	1		2		1,4		1,4	2
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	1	4	4	2,2	2,2	1,1	2
3. Обзор научной литературы		10		15		12	12	18
4. Выбор методов исследования	15	15	30	30		21	10,5	16
5. Планирование эксперимента		10		15		12	12	18
6. Проведение эксперимента		20		30		24	24	36
7. Анализ полученных результатов НИР		4		8		5,6	5,6	8
8. Оценка эффективности результатов		4		8		5,6	5,6	8
9. Составление пояснительной записки		4		8		5,6	5,6	8
Итог	17	68	36	118	3,6	88	77,8	116

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 9).

Таблица 9 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	2												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	2	 ▒▒▒▒											
3	Обзор научной литературы	Исп2	18		▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒										
4	Выбор методов исследования	Исп1 Исп2	16				 ▒▒▒▒▒▒▒▒								
5	Планирование эксперимента	Исп2	18						▒▒▒▒▒▒▒▒						
6	Проведение эксперимента	Исп2	36								▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒				
7	Анализ полученных результатов НИР	Исп2	8											▒▒▒▒	
8	Оценка эффективности результатов	Исп2	8											▒▒▒▒	
9	Составление пояснительной записки	Исп2	8												▒▒▒▒

Примечание:

|||| – Исп 1 (научный руководитель)

▒▒▒▒ – Исп 2 (инженер)

4.2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу,

или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции (таблица 10).

Таблица 10 – Затраты на завершение эксперимента

Наименование статей	Кол-во/1 изд	Цена, руб./кг	Итого затраты, руб.
Нанопорошок алюминия (Al), кг.	0,05	1212,5	1212,5
Нанопорошок оксида алюминия (Al ₂ O ₃), кг.	0,05	1212	1212
Соль нитрата алюминия (Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O).	0.1	2635	2635
Мыло туалетное	1	35	35
Перчатки, пар	5	10	50
Итого:			5144,5

Расчет амортизации специального оборудования

Расчет амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов (таблица 11).

Таблица 11 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Весы ALC-110d4	1	10	44	44
2	Ультразвуковая ванна DR-LQ20	1	5	11	11
3	Суховоздушный термостат ТС-1/80 СПУ	1	10	23	23
4	Дистиллятор АЭ-25 МО	1	8	45	45
Итого:					123 тыс. руб.

Расчет амортизации проводится следующим образом. Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (3)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Весы:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0.1 \cdot 44000}{12} \cdot 4 = 1467 \text{ руб.}, \quad (5)$$

Ультразвуковая ванна:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0.2 \cdot 11000}{12} \cdot 4 = 733 \text{ руб.}, \quad (6)$$

Суховоздушный термостат:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0.1 \cdot 23000}{12} \cdot 4 = 767 \text{ руб.}, \quad (7)$$

Дистиллятор:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0.125 \cdot 45000}{12} \cdot 4 = 1875 \text{ руб.}, \quad (8)$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 1467 + 733 + 767 + 1875 = 4842 \text{ руб.},$$

Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $З_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (9)$$

где $З_{\text{он}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$З_{\text{он}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{о}}} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.} \quad (10)$$

где $З_{\text{м}}$ – должностной оклад работника за месяц; $F_{\text{о}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$З_{\text{он}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{о}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (11)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{нр}} + k_{\text{о}}) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (12)$$

– для инженера:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{нр}} + k_{\text{о}}) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.} \quad (13)$$

где $З_{\text{мс}}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{нр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; $k_{\text{о}}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 12 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 13 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$З_{мс}, руб$	$k_{пр}$	k_o	k_p	$З_m, руб$	$З_{дн}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$З_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	17	36504,1
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	68	118530,8
Итого:								155034,9

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0.15 \cdot 36504,1 = 5475,6 \text{ руб.} \quad (14)$$

– для инженера:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0.15 \cdot 118530,8 = 17779,6 \text{ руб.} \quad (15)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{внед} = k_{внед} (З_{осн} + З_{доп}) = 0.3 \cdot (36504,1 + 5475,6) = 12593.9 \text{ руб.} \quad (16)$$

Для инженера:

$$З_{внед} = k_{внед} (З_{осн} + З_{доп}) = 0.3 \cdot (118530,8 + 17779,6) = 40893.1 \text{ руб.} \quad (17)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 6) \cdot k_{нр} =$$

$$= (4842 + 5144,5 + 155034,9 + 23255,2 + 53487) \cdot 0,2 = 48352,7 \text{руб.}, \quad (18)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ.

Таблица 14 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
4842	5144,5	155034,9	23255,2	53487	241763,6	52522,2	294285,8

4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НТР рассмотрены:

- 1) Добавление наночастиц серебра (Ag) в рост растений
- 2) Добавление наночастиц железа (Fe) в рост растений

Интегральный финансовый показатель вариантов выполнения проектируемого объекта определялся по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{Var.i}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (19)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{Var.i}}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{Var.1}} = \frac{320000}{320000} = 1, I_{\text{финр}}^{\text{Var.2}} = \frac{300800}{320000} = 0,94, I_{\text{финр}}^{\text{Var.3}} = \frac{294286}{320000} = 0,92.$$

В результате расчета интегрального финансового показателя по трем вариантам разработки вариант 3 (данная НТР) с небольшим перевесом признан более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НТР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 15).

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1. Безопасность при использовании	0,1	3/0,3	4/0,4	4/0,4
2. Стабильность работы	0,15	5/0,75	5/0,75	5/0,75
3. Научная ценность	0,2	4/0,8	4/0,8	5/1
4. Практическая значимость	0,2	5/1	5/1	5/1
5. Эффективность	0,2	4/0,8	3/0,6	4/0,8
6. Простота	0,15	5/0,75	5/0,75	5/0,75
ИТОГО	1	26/4,4	26/4,3	28/4,7

$$I_{p-вар1} = 4,4; I_{p-вар2} = 4,3; I_{p-вар3} = 4,7.$$

На основании полученных интегрального финансового показателя и интегрального показателя ресурсоэффективности был рассчитан интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{варі}$) по формуле:

$$I_{варі} = \frac{I_{p-варі}}{I_{финр}}. \quad (20)$$

$$I_{Вар.1} = \frac{4.4}{1} = 4,4, I_{Вар.2} = \frac{4.3}{0,94} = 4,6, I_{Вар.3} = \frac{4.7}{0,92} = 5,1,$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НТР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 16).

Таблица 16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,94	0,92
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	4,3	4,7
3	Интегральный показатель эффективности	4,4	4,6	5,1
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар.1/Вар.2 = 0,99	Вар. 2/Вар. 1 = 1	Вар. 3/Вар. 1 = 1,1

		Вар. 1/Вар. 3= 0,91	Вар. 2/Вар. 3 = 0,92	Вар. 3/Вар. 2 = 1,1
--	--	------------------------	-------------------------	------------------------

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 3 (данная разработка), т. к. показатель его сравнительной эффективности по отношению к каждому из сравниваемых вариантов больше 1.

4.4. Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НТР как наиболее предпочтительного и рационального по сравнению с остальными.

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работы – 116 дней; общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер, – 76; общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель, – 19;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 294285,8;

4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,92, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,7, по сравнению с 4,4 и 4,3;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,1, по сравнению с 4,4 и 4,6, и является наиболее высоким, что означает, что

техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом⁷ исполнения.

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Объект исследования – наночастицы Al, Al₂O₃, пшеница. Исследование выполнялось в лаборатории Томского политехнического университета (ауд. 026, 15 корпуса).

Данный раздел ВКР нацелен на рассмотрение потенциальных вредных и опасных факторов производства, а также на оценку экологической безопасности научно-исследовательской работы для того, чтобы принимать проектные решения, позволяющие исключить несчастные случаи на производстве и снизить вредные воздействия на человека и окружающую среду.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства

В учреждении должны соблюдать требования Трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ(ред. от 02.12.2019) [38].

Некоторые виды деятельности в нанотехнологических лабораториях относятся к видам работ в тяжелых и вредных условиях. Российское законодательство гарантирует таким работникам повышенную оплату труда; сокращённую продолжительность рабочего времени; дополнительный оплачиваемый отпуск; выдачу молока и других равноценных продуктов, а также досрочное назначение трудовой пенсии. Компенсации и гарантии обозначаются в Трудовом кодексе РФ, а также в локальных нормативных актах, коллективном договоре, трудовом договоре.

5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Лабораторные исследования выполнялись в двух положениях: стоя (преимущественно) и сидя. Соответственно, когда организуют рабочее место инженера, должны соблюдать требования ГОСТ 12.2.032-78 [39] и ГОСТ 12.2.033-78 [40].

Рабочее место располагается на 2 этаже в аудитории, помещение представляет собой комнату размером 4 м на 6 м, высотой 3 м, 2 окон, выходящих на север, в помещении находится 3 единиц технологического оборудования, 2 системы вентиляции, поверхность пола была ровная, нескользкая, удобная.

5.2. Производственная безопасность

В процессе исследования выполнялась работа в лаборатории Томского политехнического университета (ауд.026, 15 корпуса) с применением ультразвуковой ванны, сушильного шкафа.

Были выявлены потенциальные вредные и опасные производственные факторы (ГОСТ 12.0003-2015), которые могут воздействовать на исследователя во время изучения влияния наночастиц на пшеницу.

Для идентификации потенциальных факторов использован ГОСТ 12.0.003-2015 [41]. Перечень выявленных возможных опасных и вредных факторов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработ ка	Изготовл ение	Эксплуат ация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 [42] ГОСТ 12.1.005-88 [43]
2. Превышение уровня шума		+		ГОСТ 12.1.003-2014 [44] ГОСТ 12.1.029-80 [45] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [46]
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [47] СП 52.13330.2016 [48]
4. Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания		+		ГОСТ 12.1.005-88 [43] ГН 2.2.5.3532-18 [49] СанПиН 2.2.4.548-96 [42]

Анализ опасных и вредных производственных факторов

Анализ показателей микроклимата

Микроклимат представлен следующими показателями: (1) температура воздуха; (2) скорость движения воздуха; (3) относительная влажность воздуха; (4) интенсивность теплового излучения.

Оптимальные и допустимые показатели микроклимата в рабочей зоне производственного помещения по ГОСТ 12.1.005-88 [43] приведены в таблице 2. Таблица 2 – Требования к микроклимату помещения для категории работ «Легкая Ia»

Период года	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
	оптимальная	допусти мая				оптимальная	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных, не более	оптимальная, не более	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных
		верхняя граница		нижняя граница					
		на рабочих местах							
		посто- янных	не- посто- янных	пос- тоян- ных	не- посто- янных				
Холод- ный	22- 24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	Не более 0,1
Теплый	23- 25	28	30	22	20	40-60	55 (при 28°С)	0,1	0,1-0,2

Микроклимат оказывает влияние на физическое состояние человека и качество его работы. Так, например, с низкой влажностью связано пересыхание слизистой оболочки дыхательных путей.

В лаборатории есть два окна и две вентиляции, которые гарантируют скорость движения воздуха. Но оборудование, оснащенное лабораторией, в которой проводятся исследования, приводит к снижению уровня влажности в помещении и повышению температуры воздуха.

Чтобы обеспечивать требуемые показатели микроклимата, следует измерять показатели по требованиям, представленным в [42]. Улучшение

микроклимата обеспечивается влажной уборкой, увлажнением воздуха, можно снизить температуру в лаборатории с помощью кондиционера.

Анализ уровня шума на рабочем месте

Нормативы по шуму определены в ГОСТ 12.1.003-2014 [44] и в СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [46].

Работа инженера по материаловедению в лаборатории относится к категории работ с легкой степенью напряженности и со средней физической нагрузкой. Прибором в лаборатории, издающим шум, является ультразвуковая ванна. Для рабочих мест таких работников предельно допустимый уровень шума составляет 70дБА [46] (таблица 3).

Таблица 3 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическ ая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

Длительное влияние шума вызывает головную боль, повышенную усталость и нарушение в работе органов пищеварения. Показатели уровня шума в лаборатории соответствуют нормативам.

Анализ освещенности рабочей зоны

Нормы освещения научно-технических лабораторий, в том числе физических, стилометрических, спектрографических и т. п., по [47] представлены в таблице 4.

Исследование предполагает зрительные работы, которые относятся к 4 разряду (средняя точность). Нормы разных видов освещения для промышленных помещений со зрительными работами четвертого разряда [48] представлены в таблице 5.

В результате недостатка освещения ухудшается сон, увеличивается зрительная нагрузка, развиваются офтальмологические заболевания.

Таблица 4 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения научно-технических лабораторий

Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение КЕО e_n , %		Совмещенное освещение КЕО e_n , %		Искусственное освещение				
	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	Освещенность, лк		Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации и освещенности, КЕО e_n , %, не более	
					при комбинированном освещении	при общем освещении			
				всего	от общего				
Г-0.8	3.5	1.2	2.1	0.7	500	300	400	40	10

Таблица 5 – Требования к освещению помещений промышленных предприятий (для категории IVГ)

Искусственное освещение				
Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин объединенного показателя дискомфорта UGR и коэффициента пульсации	
при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения	UGR, не более	Кп, %, не более
Всего	В том числе от общего			
-	-	200	25	20

В лаборатории, длина $A = 4$ м, ширина $B = 6$ м, высота $H = 3$ м, высота рабочей поверхности над полом $h_{rp} = 0,9$ м, коэффициент неравномерности

освещения (для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1) $Z=1,1$, коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника $k=1,5$

Расчет площади освещенной поверхности(S) :

$$S = A \cdot B = 4 \times 6 = 24 \text{ м}^2$$

Расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью(h):

$$h = H - h_{\text{сп.}} = 3 - 0,9 = 2,1 \text{ м}$$

Для освещения используются светильники типа ОД мощностью 40 Вт, для которых оптимальность расположения светильников составляет $\lambda = 1,4$.

Расчетная длина между двумя рядами светильников:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,1 = 2,9 \text{ м.}$$

Число рядов светильников:

$$n = B/L = 6/2,9 = 2$$

При длине светильника 1,3 м, их общая длина составляет:

$$1,3 \cdot 2 = 2,6$$

Расстояние между светильниками при этом составит:

$$\frac{6 - 2,6}{2 + 1} = 1,1$$

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h(A + B)} = \frac{24}{2,1(4 + 6)} = 1,14$$

Коэффициент использования светового потока $\eta = 42 \%$. В светильнике две лампы, световой поток каждой равен 2480 лм, соответственно световой поток светильника в два раза больше и составляет 4960 лм.

$$E_{\text{факт}} = \frac{N \cdot \eta \cdot \Phi}{S \cdot k \cdot Z} = \frac{4 \cdot 42\% \cdot 4960}{24 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 210 \text{ лк.}$$

N - число светильников над освещаемой поверхностью.

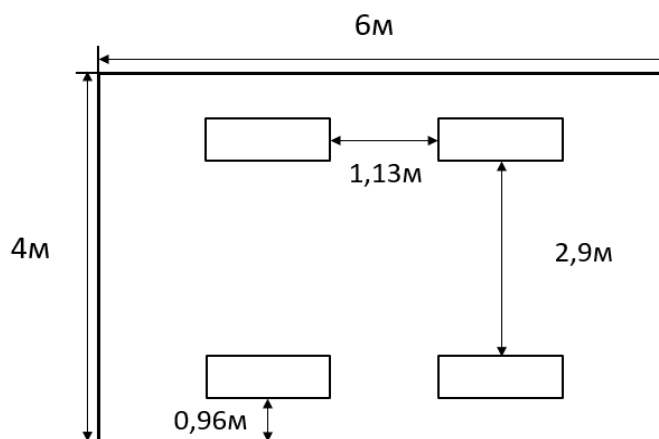


Рисунок 1 –Схема расположения светильников

Согласно расчётам, фактическое значение освещения не соответствует в диапазон освещённости искусственным светом 300-500 лк: $E_{\text{факт}} = 210$ лк, что означает отсутствие освещения.

Чтобы улучшить освещение в лаборатории, окна должны быть часто очищены, чтобы обеспечить естественный свет, а также увеличить количество искусственных источников света, таких как люминесцентные лампы, газосветные лампы и светодиодные лампы.

Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания

Требования к воздуху рабочей зоны приведены в ГОСТ [43], с указанием допустимого содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Необходимо регулярно контролировать содержание вредных веществ в воздухе [49].

В экспериментах использовались наночастицы Al и Al_2O_3 . Al относится к четвертому классу опасности – умеренных опасных веществ [50], его ПДК 6 мг/м^3 . Al_2O_3 относится к третьему классу опасных веществ [50], его ПДК 2 мг/м^3 .

Высокая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны может привести к потере сознания, затруднению дыхания и раздражению кожи. Чтобы

уменьшить уровень загрязнения воздушной среды в зоне дыхания, можно предпринять следующие меры:

- использовать средства индивидуальной защиты (СИЗ);
- применять эффективную систему общеобменной приточно-вытяжной и местной вытяжной вентиляции;
- контролировать содержание вредных веществ в рабочей зоне.

5.3 Экологическая безопасность

Эксперимент по изучению влияния наночастиц на растения предполагает приготовление суспензии из наночастиц Al, Al₂O₃.

Один из возможных опасных факторов для атмосферы при изготовлении суспензии из наночастиц Al, Al₂O₃ – испарение суспензии. Защита от выбросов проходит в два этапа: (1) очистка вредных выбросов в специальных аппаратах (циклоны, фильтры и т.д.); (2) рассеивание очищенных выбросов в воздухе. Испарения, появляющиеся при проведении исследования, не превышают ПДК [51].

Для проведения исследования используются различные емкости для жидкости, на стенках которых могут быть остатки суспензии. При очистке инструментов вредные вещества через водопроводную систему могут попадать в почву и в воду. Чтобы очистить воду от вредных веществ, используют методы экстракции, ректификации, адсорбции, обратного осмоса и ультрафильтрации и др. Большое количество вредных веществ в воде опасно для людей, животных и растений. Количество отходов, попадающих в процессе исследования в воду, не превышает ПДК [52].

В ходе проведения исследования образуются твердые отходы: побеги растений, перчатки. При попадании порошковых материалов в почву возможно изменение ее состава, что плохо влияет на находящиеся там живые организмы. Законодательство требует соблюдения правил утилизации вредных твердых отходов.

Таким образом, проведение исследования безопасно для атмосферы, гидросферы и литосферы.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайными ситуациями называются такие ситуации, которые нарушают безопасность жизнедеятельности.

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций делят на внешние – стихийные бедствия, неожиданное прекращение подачи электроэнергии, воды, технологических продуктов и т.д.; и внутренние – сложность технологий, недостаточная квалификация персонала, проектно-конструкторские недоработки, физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина и т.п.

В лаборатории наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного характера. На случай возникновения чрезвычайной ситуации в лаборатории должен быть предусмотрен следующий комплекс мероприятий: (1) необходимо эвакуировать людей или укрыть их людей в защитных сооружениях; (2) обеспечить людей индивидуальными средствами защиты; (3) организовать медицинскую помощь пострадавшим.

На территории Томской области наиболее вероятные источники ЧС природного характера: шквальные ветры и ураганы; половодье; эрозия почв; обильные осадки, в т.ч. сильный туман и крупный град. ГУ МЧС по Томской области – организация, ответственная за предупреждение населения о возможных ЧС и ликвидацию их последствий занимается.

Анализ пожаробезопасности

Наиболее распространенная вероятная чрезвычайная ситуация в лаборатории – это пожар. Помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к классу П-2, т.к. в нем присутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии [53].

Бывают следующие причины пожара: (1) курение в помещении; (2) использование открытого огня; (3) перегрузки по току; (4) искрение; и т. п.

Во избежание пожара в лаборатории необходимо обеспечить правильный тепловой и электрический режим работы оборудования. Все сотрудники лаборатории должны пройти противопожарный инструктаж.

В лаборатории установлены пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения, средства индивидуальной защиты, а также источники воды, соответствующие требованиям пожарной безопасности.

5.5. Выводы по разделу

В результате работы над разделом "Социальная ответственность" были выявлены вредные и опасные факторы при работе в лаборатории и предложены соответствующие мероприятия по совершенствованию.

Необходимо соблюдать элементарную технику безопасности, которую изучают в первичных инструктажах по безопасности работы в лабораториях. ПДК вредных веществ воздуха в рабочей зоне не превышает предела допустимого.

Проведенные исследования никоим образом не влияют на экологическую безопасность, так как используемые нано суспензии специально утилизируются.

При реализации данной исследовательской работы в производстве следует учитывать, что полученные проростки пшеницы экологически безопасны, а ПДК вредных веществ в воздухе в процессе производства не превышают предела.

Таким образом, в данном разделе рассмотрены потенциальные вредные и опасные факторы, которые могут повлиять на человека и окружающую среду во время проведения исследования по изучению влияния наночастиц на проростки пшеницы. Данные фактор учтены и минимизированы при выполнении лабораторных работ по теме ВКР.

6. СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Шиюэ Л. Влияние наночастиц Al, Al₂O₃ и Al³⁺ на биометрические параметры проростков пшеницы // Труды X Всероссийской научно-практической конференции "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", 22-24 апреля 2020 г., г.Томск: Изд-во ТПУ, 2020.
- в печати.

7. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Brousseau P., Anderson C. J. Nanometric aluminum in explosives // *Propellants Explosives Pyrotechnics*. – 2002. – V.27. – № 5. – P.300-306.
2. Nowack, B., Bucheli, T. D. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment // *Environmental Pollution* – 2007. – V.150. – P.5-22.
3. Kopittke P. M., Moore K.L., Lombi E., Gianoncelli A., Ferguson B.J., Pax F., Blamey C., Menzies N.W., Nicholson T.M., McKenna B.A., Wang P., Gresshoff P.M., Kourousias G., Webb R.I., Green K., Tollenaere A. Identification of the primary lesion of toxic aluminum in plant roots // *Plant Physiology* – 2015. – Vol.167 – P.1402–1411.
4. Burklew C.E., Ashlock J., William B. W., Zhang B. Effects of aluminum oxide nanoparticles on the growth, development, and microRNA expression of tobacco (*Nicotiana tabacum*) // *PLoS One*, – 2012 – Vol.7(5) – p.e34783
5. Vert M., Doi Y., Hellwich K.H., Hess M., Hodge P., Kubisa P., Rinaudo, M.; Schué, F.O. Terminology for biorelated polymers and applications (IUPAC Recommendations 2012) // *Pure and Applied Chemistry*. – 2012– Vol.84 (2) – P.377-410.
6. Fraunhofer W., Winter G., The use of asymmetrical flow field-flow fractionation in pharmaceuticals and biopharmaceuticals // *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. – 2004. – V. 370. – P.369:383.
7. M. Gazanfari, M. Karimzadeh, S. Ghorbani, M. R. Sadeghi, G. Azizi, H. Karimi, Fattahi N., Karimzadeh Z. Synthesis of aluminium nanoparticles by arc evaporation of an aluminium cathode surface // *Bulletin of Materials Science* –2014 – V. 37(4) – P.871–876.
8. Ivanov Yu.F., Osmonoliev M. N., Sedoi V. S., Productions of ultra-fine powders and their use in high energetic compositions // *Propellants, Explosives, Pyrotechnics* – 2003 – V. 28(6) – P. 319-333.

9. Монин А.В., Земцова Е.Г., Швейкина Н.Б., Смирнов В.М., Синтез микро- и наночастиц оксида алюминия золь-гель методом // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2010. – Т.4. – С. 154-157.
10. Лямина Г.В., Илела А.Э., Качаев А.А., Амантай Д., Колосов П.В., Чепрасова М.Ю., Получение нанопорошков оксида алюминия и циркония из растворов их солей методом распылительной сушки // интернет-конференции “Бутлеровские чтения”. – 2013. – 33(2). – С. 19-124.
11. Novrotsky A., Energetics of nanoparticles oxides: interplay between surface energy and polymorphism // Geochemical transactions. – 2003 – V.4 – P.34-37
12. Адуев Б.П., Нурмухаметов Д.Р., Звеков А.А., Каленский А.В., Никитин А.П., Модификация свойств взрывчатых материалов добавками нанодисперсных энергоемких металлических частиц // Химия в интересах устойчивого развития. – 2015 – Т. 23 – № 2 – С.183-192.
13. Abdel-Aziz M.H., Zoromba M.Sh., Bassyouni M., Zwawi M., Alshehri A.A., Al-Hossainy A.F. Synthesis and characterization of Co-Al mixed oxide nanoparticles via thermal decomposition route of layered double hydroxide // Journal of Molecular Structure, – 2020 – V.1206. – No.127679.
14. Gayathri J., Elansezhian R., Enhancement of mechanical properties of aluminium metal matrix composite by reinforcing waste alumina catalyst and nano Al_2O_3 // Materials Today: Proceedings. – 2020. – <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.003>.
15. Ali H.A., Miqdam T., Chaichan, Hussein A., Kazem, K., Sopian, Comparative study to use nano- $(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{CuO}, \text{and SiC})$ with water to enhance photovoltaic thermal PV/T collectors // Energy Conversion and Management, – 2017. – V.148 – P. 963-973.

16. Cui X., Guo J., Biomimetic fabrication, mechanical behavior and interrupted turning performance of the microscopic surface structures of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ micro-nano-composite ceramic // Journal of Alloys and Compounds – 2019 – V.811 – P.152012.
17. Yang K., Li Y., Zejun Z., Tian Z., Lai Y. Amorphous porous layered- Al_2O_3 derived from AlFu MOFs as an adsorbent for removing fluorine ions in industrial ZnSO_4 solution // Chemical Engineering Research and Design, – 2020 – V.153 – P.562-571.
18. A Bermejo-López., Pereda-Ay B.O., González-Marcos J.A., González-Velasco J.R. Mechanism of the CO_2 storage and in situ hydrogenation to CH_4 . Temperature and adsorbent loading effects over Ru- $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ and Ru- $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ catalysts // Applied Catalysis B: Environmental. – 2019. – V.256 – No.117845.
19. Amalraj S., Prawin A.M. Synthesis and characterization of Al_2O_3 and CuO nanoparticles into nanofluids for solar panel applications // Results in Physics – 2019 – V.15 – P.102797
20. М.С. Болдин, Н.В. Сахаров, С.В. Шотин, В.Н. Чувильдеев, А.В. Нохрин, Д.Н. Котков, А.В. Писклов. Композиционные керамики на основе оксида алюминия, полученные методом электроимпульсного плазменного спекания для трибологических применений // Физика твёрдого тела, Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского – 2012 – № 6 (1) – С. 32–37.
21. Сафроненков С.А., Кяшкин В.М., Мордюк В.С., Пыненков А.А. Деградация алюмооксидных нанокерамических оболочек, газоразрядных горелок натриевых ламп высокого давления, (нлвд) в процессе их эксплуатации // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 1. – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5576>.

22. Серцова А.А., Маракулин С.И., Субчева Е.Н., Юртов Е.В. Создание негорючих полимерных композиций с применением наночастиц соединений металлов в качестве замедлителей горения // Труды VI Международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов»: сборник материалов Междун. конф. (ИМЕТ РАН 10-13 ноября 2015 г.) – Москва 2015 – С. 683.
23. Козерожец И.В. Разработка метода получения и исследование субмикронных и наноразмерных частиц оксидов алюминия с низким содержанием примесей: Автореф. дис. канд. хим. наук. – Москва, 2011. – 23 с.
24. Boutin P., Blanquaert D., A study of the mechanical properties of alumina-on-alumina total hip prosthesis // *Revue de Chirurgie Orthopedique et Reparatrice de L'appareil Moteur*. –1981 – V.67(3) – P.279-287.
25. Hsu S.-M., Ren F., Chen Z., Kim M., Chaker F., Clark A.E, Neal D., Esquivel-Upshaw J.F. Novel Coating to Minimize Corrosion of Glass-Ceramics for Dental Applications // *Materials*. – 2020. – V.13(5.) – P.1215
26. Huang F., Zhao J., Wei Y., Wen Z., Zhang Y., Wang X., Shen Y., Wang L., Pan N. Anti-tumor efficacy of an adjuvant built-in nanovaccine based on ubiquitinated proteins from tumor cells // *International Journal of Nanomedicine*. – 2020. –V.15. – P.1021-1035.
27. Khot L.R., Sankaran S., Maja J.M., Ehsani R., Schuster E.W., Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review // *Crop Protection*. – 2012. – Vol.35 – P. 64-70.
28. Tohren C., Kibbey G., Strevett K.A., The effect of nanoparticles on soil and rhizosphere bacteria and plant growth in lettuce seedlings // *Chemosphere*. – 2019. – V. 221. – P. 703-707.

29. Lu C.M., Zhang C.Y., Wen J.Q., Wu G.R., Tao M.X., Research of the effect of nanometer materials on germination and growth enhancement of Glycine max and its mechanism // Soybean Science. – 2002. – V.21. – P.168-172.
30. Shah V., Belozerova I. Influence of metal nanoparticles on the soil microbial community and germination of lettuce seeds // Water, Air and Soil Pollution. – 2009. – V.197. – P. 143-148.
31. Nair P.M.G., Chung I.M. Physiological and molecular level effects of silver nanoparticles exposure in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. // Chemosphere. – 2014. – V.112. – P.105-113.
32. Lin D., Xing B. Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth // Environmental Pollution. –2007. – V.150(2) – P.243-250.
33. Zhang R., Zhang H., Tu C., Hu X., Li L., Luo Y., Christie P. Phytotoxicity of ZnO nanoparticles and the released Zn (II) ion to corn (*Zea mays* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) during germination // Environmental Science and Pollution Research. – 2015. – V. 22. – P.11109-11117.
34. Bilal A., Saghir K. M., Javed M. Toxicity assessment of metal oxide nanopollutants on tomato (*Solanum lycopersicon*): A study on growth dynamics and plant cell death // Environmental Pollution. – 2018 –V.240 – P.802-816.
35. Томас Г. Просвечивающая электронная микроскопия материалов. – М.: Наука, 1983. – 320 с.
36. Manesh R R. Co-exposure to titanium dioxide nanoparticles does not affect cadmium toxicity in radish seeds (*Raphanus sativus*) // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2018 – V.148. – P.359-366.
37. Jahan S. Toxicity evaluation of ZnO and TiO₂ nanomaterials in hydroponic red bean (*Vigna angularis*) plant: physiology, biochemistry and kinetic transport // Journal of Environmental Sciences. –2018 – V.72. – P.140-152.

38. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 02.12.2019).
39. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
40. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
41. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (дата введения: 01.03.2017).
42. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г.).
43. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (дата введения: 01.01.1989).
44. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (дата введения: 01.11.2015).
45. ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация (дата введения: 01.07.1981).
46. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г.).
47. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий (дата введения: 15.06.2003).
48. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (дата введения: 08.05.2017).

49. ГН 2.2.5.3532-18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 13.02.2018 № 25).
50. ГОСТ 12.1.007-76.ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (дата введения: 01.01.1977).
51. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений (утв. 22.12.2017, с изменениями на 31.05.2018).
52. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (утв. 30.04.2003, с изменениями на 13.07.2017).
53. Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"» от 10.07.2012 № 117-ФЗ.